技術革新論の新しい展開--ゲーム理論的アプローチ

林田, 修

林田, 修. 技術革新論の新しい展開--ゲーム理論的アプローチ. 經濟論叢 1990, 145(4): 496-512

1990-04

https://doi.org/10.14989/139269

経済論叢（京都大学）第145巻第4号，1990年4月

技術革新論の新しい展開

——ゲーム理論的アプローチ——

林田　修

I　はじめに

現代経済において，企業間で繰り広げられる競争は様々な形態をとって行なわれる。Dasgupta=Stiglitz〔1980a〕は，その有名な論文の序論において，経済的競争を価格競争，生産量競争，そして技術開発競争の3つに大別し，この第3の競争に関する研究の著しい理論的停滞を指摘した。この指摘を受け，技術革新は1980年代におけるミクロ経済学の主要な研究対象の一分野となり，彼らが指摘した理論的停滞も今日かなりの程度埋められつつあると言えるだろう。特に，この分野に対するゲーム理論の応用は，従来の定説を再検討させるに至った。この小論では，そうした最近の技術革新論の進展を展望したい。

一般に，技術革新はプロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーションの2種類に大別される。前者はこれまで存在しなかった製品を新しく開発すること，換言すれば生産技術そのものの発明を意味する。したがって前者の競争において，企業は，おもに開発のスピードをライバルと競う。後者は，既存の生産技術を改善することによって生産コストを削減することを意味する。したがって後者の競争において，企業は，既存製品をライバルよりどれだけ安いコストで生産できるかを競う。では，技術革新はどのような手段・要因によって実現されるだろうか。この小論では2種類の方法，すなわち私企業の技術革新投資によって実現される場合と学習効果によって実現される場合とに限定して考察することにする。

モデル分析において，需要条件，生産技術，情報構造，実行可能な行動範囲

と実際に行動する順番などの条件がすべての企業に等しいモデルは「対称モデル」，前述の条件のいずれかが等しくないモデルは「非対称モデル」呼ばれる。この小論では，紙面の制約上，非対称モデルの紹介を断念し，小論の全体を通して企業の対称性が仮定される（「対称性の仮定」と呼ぶことにする）。

以下，この小論の構成は次のようである：第2節では新製品開発競争の均衡が求められ，その均衡の性質が開発費の費用構造に大きく依存することが示される。第3節では費用削減競争の均衡が求められ，その均衡が生産市場の戦略変数の特性に依存することが紹介される。第4節では生産に学習効果が存在する際の戦略が求められ，第5節は結語である。

II　新製品開発投資

この節では，Loury〔1979〕, Lee=Wilde〔1980〕の論文をもとに，新製品開発投資に関する寡占企業の意思決定を考察する。まず，n 社の企業が新製品開発競争を行なっているとしよう。最初に開発に成功した企業は無期限の特許権を承認され，成功以後の毎期Π（定数）の収入を得られる一方，その他の企業はなにも得られないとしよう[1)]。この競争の開始時点において，各企業 i（$i=1,...,n$）は開発投資 x_i（貨幣単位）を同時に行ない，その後開発に成功するまでいかなる収入も得られないとする[2)]。企業 i が開発に成功する時点 τ_i は確率変数であり，開発開始時点から時間 t までの間に企業 i が開発に成功する確率分布は開発投資 x_i に依存する。簡単化のためにこの確率分布と x_i の関係は以下のように特定化される：

$$H(t\,;\,x_i)=pr[\tau_i\leqq t]=1-\exp[-h(x_i)t]$$

ところでこの確率分布関数 $H(t\,;\,x_i)$ は，

$$H'(t\,;\,x_1)/\{1-H(t\,;\,x_i)\}=h(x_i)$$

という著しい特徴をもつ。すなわち一度投資水準 x_i が選択されると，$H(t\,;$

1) この仮定はゆるめられる。Fudenberg=Tirole〔1986〕, p. 31-36.
2) この仮定はゆるめられる。Gilbert=Newberry〔1982〕.

x_i) は，時間 t に初めて開発に成功する条件付き確率が t に依存しない定数 $h(x_i)$ であるような確率分布である。このとき $h(x_i)$ は企業のもつ新製品開発能力を表わす関数と解釈されてよい。ここで $h(x_i)$ は2階連続微分可能，厳密に正であるとし，次の条件を満たすと仮定しよう：

$$h(0)=0=\lim_{x\to 0} h'(x),\ h''(x)\gtreqless 0(\bar{x}\lesseqgtr x),\ h'(x)\gtreqless h(x)/x(\tilde{x}\lesseqgtr x)$$

特に，$0<\bar{x}<\tilde{x}$ のケースにおいて開発能力は投資に関して「規模の経済性」をもつときことに注意しよう。

今，任意の企業 i の意思決定を考えてみよう。まず，ライバルの中で最初に製品開発に成功する企業の開発時点は $\min_{i\neq j}\{\tau_j(x_j)\}$ であるから，時間 t においてライバルの内の誰かがすでに製品開発に成功している確率は，

$$\mathrm{Prob}[\min_{i\neq j}\{\tau_j(x_j)\}\leqq t]=1-\exp[-a_i t]$$
$$(a_i=\textstyle\sum_{i\neq j}h_j(x_j)) \tag{2-1}$$

である。こうして企業 i が時間 t に収入 Π を得るとすれば，

$$\tau_i(x_i)\leqq\min\{\min_{i\neq j}\{\tau_j(x_j)\},\ t\} \tag{2-2}$$

の事象に限られ，この事象が起こる確率は，

$$\begin{aligned}&\mathrm{Prob}[\tau_i(x_i)\leqq\min\{\min_{i\neq j}\{\tau_j(x_j)\},\ t\}]\\&\quad=\exp[-a_i t]\{1-\exp[-h_i(x_i)t]\}+a_i\\&\qquad\int_0^t\{1-\exp[-h_i(x_i)s]\}\exp[-a_i s]ds\equiv F_i(t)\end{aligned} \tag{2-3}$$

となる。すべての企業が同じ時間選好率 r をもつとすると，この製品開発競争における企業 i の期待利潤の現在割引価値 π_i は，

$$\begin{aligned}\pi_i(x_i,\ a_i;\ \Pi,\ r)&=\int_0^\infty F_i(t)\exp[-rt]\Pi dt-x_i\\&=\frac{h_i(x_i)\Pi}{r(a_i+h_i(x_i)+r)}-x_i\end{aligned} \tag{2-4}$$

となる。企業 i は期待利潤を最大化するように行動すると仮定すると，ライバルの行動に対する最適反応は，

$$x_i(a_i;\ r,\ \Pi)=arg\max_{xi}\ \pi_i(x_i,\ a_i;\ \Pi,\ r)$$

で示される。製品開発競争の均衡では，対称性の仮定より，すべての企業が同

じ開発投資 x^* を選択すると考えてよい。まず企業数 n を所与とした場合の短期均衡開発投資量 $x^*(n)$ は,

$$x^*(n)=\hat{x}((n-1)h(x^*)\,;\,r,\,\Pi)$$

を満たさなければならないが，逆にこのとき明らかにどの企業も選択を変更する誘因を持たないので，よって短期均衡投資量は上式で与えられることが確かめられる。

ここで短期均衡開発投資量 $x^*(n)$ の性質を調べてみよう。まず企業数と短期均衡開発投資量はどのような関係をもつだろうか。

$$\frac{\partial x((n-1)h(x^*)\,;\,r,\Pi)}{\partial a_i}$$

$$=\frac{h'((n-2)h+r)}{((n-1)h+r)\{h''(nh+r)-2(h')^2\}}<0 \tag{2-5}$$

より,

$$\frac{\partial x^*}{\partial n}=\frac{h(^*x)\partial\hat{x}/\partial a_i}{1-(n-1)h'(x^*)\partial\hat{x}/\partial a_i}<0 \tag{2-6}$$

となり，産業の企業数が増加するのにつれて均衡製品開発投資は減少する。次に企業数と産業全体の短期均衡期待開発時点はどのような関係をもつだろうか。ここで産業全体の短期均衡期待開発時点は,

$$E\tau(x^*(n))=h(x^*(n))^{-1}$$

(E: 期待値オペレーター) で与えられるので,

$$\frac{dE\tau(x^*(n))}{dn}=-\frac{h}{(nh)^2}\left[1-\frac{nh'\partial\hat{x}/\partial a_i}{1-(n-1)h'\partial\hat{x}/\partial a_i}\right] \tag{2-7}$$

より，もしも $-h'(x^*)\partial\hat{x}/\partial a_i\leqq 1$ ならば，企業数が増加するにつれて産業全体の期待開発時点は早くなり，逆の場合は遅くなる。以上のことから，短期均衡において，企業数の増加は常に企業の開発投資を減少させるが，それは必ずしも新製品が産業に導入される時期（期待値）を遅らせるとは限らないことがわかる。

ところで，長期的には正の利潤が得られる限り新しい企業の参入は続くと考えてよいので，長期均衡企業数は均衡期待利潤 $\pi^*((n-1)h(x^*(n)\,;\,r,\,\Pi)$ を

ゼロにする企業数 n_0 で与えられる。今，このような自然数 n_0 が存在すると仮定すると[3)],

$$\frac{h(x^*(n_0))}{x^*(n_0)}\left[\frac{n_0 h(x^*(n_0))+r}{(n_0-1)h(x^*(n_0))+r}\right]=h'(x^*(n_0)) \qquad (2\text{-}8)$$

が成立することから $h(x^*(n_0))/x^*(n_0)<h'(x^*(n_0))$ すなわち $x^*(n_0)<\tilde{x}$ であり，長期均衡において企業は新製品開発能力におけるすべての規模の経済性を利用し尽くしていないことがわかる。

最後に，新製品開発競争の短期・長期均衡と社会的厚生の関係を考えてみよう。均衡における社会的余剰Wを，

$$W(x,\ n\ ;\ r,\ \Pi)=n\pi((n-1)h(x(n)),\ x(n);\ r,\ \Pi)$$

で表わすとすると，nを所与とした短期における社会的厚生上最も望ましい投資水準 $x^{**}(n)$ は，社会的余剰最大化の1階条件より $\partial W(x^{**}(n),\ n\ ;\ r,\ \Pi)/\partial x=0$ で与えられる。他方，$\partial W(x,\ n\ ;\ r,\ \Pi)/\partial x$ を短期均衡投資量 $x^*(n)$ で評価すると，

$$\frac{\partial W(x^*,\ n\ ;\ r,\ \Pi)}{\partial x}$$

$$=(n-1)h'(x^*)\frac{\partial\pi((n-1)h(x^*),\ x^*)}{\partial a_i}<0 \qquad (2\text{-}9)$$

となるので，xに関する $W(x,\ n\ ;\ r,\ \Pi)$ の凹性より $x^*(n)>x^{**}(n)$ である。すなわち，短期均衡開発投資は社会的厚生上過剰投資であることが示される。

次に社会的厚生上長期的に最も望ましい投資量と企業数を $(x^{**}(n^{**}),\ n^{**})$ で表わすとすると社会的余剰最大化の1階条件より，

$$\frac{h(x^{**}(n^{**}))}{x^{**}(n^{**})}=\frac{\{n^{**}h(x^{**}(n^{**}))+r\}^2}{V}=h'(x^{**}(n^{**})) \quad (2\text{-}23)$$

を得るので，$x^{**}(n^{**})=\tilde{x}$ であることがわかる。一方，短期均衡で示したように任意のnに対して $x^*(n)>x^{**}(n)$ であるから $x^*(n^{**})>x^{**}(n^{**})$，すなわち $x^*(n^{**})>\tilde{x}$ である。他方 $x^*(n_0)<\tilde{x}$ より $x^*(n^{**})>x^*(n_0)$，さらに

3) もしも $h(x)$ が厳密に凹ならば有限の n_0 は存在せず，参入は無限に続く。他方もしも有限の n_0 が存在するならば，$h(x)$ が規模の経済性をもつ場合に限られる。

$x^*(n)$ が減少関数であることを考慮すると $n^{**}<n_0$ が得られる。ゆえに参入障壁がない場合の長期均衡企業数では社会的厚生上過当競争となることがわかる。

Lee＝Wilde〔1980〕は，以上の結論の一部が実はモデルで設定された費用構造に著しく依存するを示した。Loury〔1979〕では，製品開発投資は競争の開発時点に一回だけ行なわれると仮定されているので，一度投資されてしまうと開発活動の有無に関わらずかかる固定費用としての性格をもつ。他方 Lee＝Wilde〔1980〕は，各企業は開発を行なう限り競争開始時に選択した一定額の投資を毎期行なわなければならない，と仮定した。このとき彼らの製品開発投資は，実際に企業が開発を行なっているときにのみ必要とされるという意味において，可変費用としての性格をもつ。彼らは，このようにモデルの費用構造を変更すると，Loury の結論は以下の1)と2)のように修正されることを証明した。

ここで以上の代表的な2つの分析の結論を整理すると次のようになる：1)もしも開発投資が固定費用としての性格を強くもつならば，企業数が増加するにつれて均衡投資量は減少する。逆に，可変費用としての性格を強くもつならば，企業数が増加するにつれて均衡投資量は増加する；2)長期均衡が有限の企業数で達成される場合，もしも開発投資が固定費用としての性格を強くもつならば，企業は新製品開発能力がもつ規模の経済性を十分に活用していない（過剰能力の存在)。逆に，可変費用としての性格を強くもつならば，企業は新製品開発能力がもつ規模の経済性を必要以上に活用する；3)短期均衡投資量は社会的に最適な水準よりも多い（過剰投資)；4) 長期均衡が有限の企業数で達成される場合，長期均衡企業数は社会的に最適な数よりも多い（過当競争)。

III 費用削減投資

この節では，企業が直接投資によって既存の生産技術を確実に改善できる際に起る寡占企業間の費用削減競争を分析したいくつかの論文を紹介しよう。最

初に体系的に Cournot 寡占企業の費用削減投資を分析したのはDasgupta=Stiglitz〔1980〕である。彼らのモデルでは，企業は利潤を最大化するように生産量と投資量を同時に選択すると設定される。この意思決定ルールの下で，費用削減投資は Cournot 均衡生産量の費用を最小化するように決定される。このことは，企業はまず生産量を決定し，次にライバルがこの生産量を変更しないと予想した上で，自社の生産費用を最小化するためにのみ投資水準を決定することに等しい。すなわち，生産量の決定とは異なって，投資はライバルの決定に相互依存せず，単独に決定されるのである。この費用削減投資のもつ「非戦略的変数」的な性質[4]のため，生産量と投資量の同時決定を設定したモデルは「非戦略モデル」と呼ばれ，その均衡は，ライバルが生産量を変更しないという特殊な予想をすべての企業がもつという仮定に著しく依存することから，特に「プリコミットメント均衡」[5]と呼ばれる。

ところで需要関数と企業数を所与とすれば，典型的な Cournot 均衡生産量はすべての企業の費用関数に依存して決まる。したがって均衡生産量と費用関数の依存関係に気づいた企業は，もはや自社の生産費用を最小化するためにのみ投資水準を決定しないだろう。すなわち，自社のみならずライバルの生産量も自社の費用関数に依存するわけであるから，企業はここで費用削減投資のもつと思われる2つの効果—自社の生産費用を削減する効果とライバルの生産量に及ぼす効果—を考慮して投資水準を決定するだろう。

Brander=Spencer〔1983〕は以上の2つの効果を明示的に分析するために，複占企業がまず費用削減投資を同時に行ない，お互いにその結果を知った後で生産量を同時に決定するような2段階複占ゲームを考案した。このような逐次的な意思決定を設定したモデルは「戦略モデル」と呼ばれ，その均衡は「部分ゲーム完全均衡」と呼ばれる。Brander=Spencer〔1983〕の考案した費用削減競争の「戦略モデル」は，さらに Okuno=Suzumura〔1987〕によってより一

4) Brander=Spencer〔1983〕参照。
5) Fudenberg=Tirole〔1983〕参照。

般的かつ厳密に分析された。彼らは，n社の企業が第2段階で Cournot 生産量競争を行なう場合と Bertrand 価格競争を行なう場合の，2種類の2段階モデルの均衡をそれぞれ求め，社会的厚生上最も望ましい投資水準と比較した。以下，寡占企業の費用削減競争の性質を Okuno=Suzumura〔1987〕によって紹介しよう。

今，独占的競争下にある各企業 $i(i=1, \ldots, n)$ が第1段階で費用削減投資 x_i を同時に行ない，その結果をお互いに知った後，第2段階で生産市場の戦略変数 s_i（生産量ならば $s_i=q_i$, 価格ならば $s_i=p_i$ である）を同時に決定するような2段階 n-寡占ゲームを考えよう。すべての企業に共通の費用関数 $C(q_i; x_i)$ は2階連続微分可能で，次の仮定を満たすものとする：

$$C_q \geqq 0 \quad C_x < 0 \quad C_{qq} \geqq 0 \quad C_{xx} > 0 \quad C_{qx} < 0 \tag{3-1}$$

ここで各企業の財は必ずしも完全に同質であると仮定される必要はない。

代表的な消費者の効用関数を $u(q)(q=(q_1, \ldots, q_n))$，間接効用関数を $V(p)$ $(p=(p_1, \ldots, p_n))$ とおくと，ロワの恒等式から生産物市場の需要関数，逆需要関数はそれぞれ次のようになる：

$$q_i=-V_i(p) \quad p_i=u_i(q)$$
$$(\partial u(q)/\partial q_i \equiv u_i, \ \partial V(p)/\partial p_i \equiv V_i) \tag{3-2}$$

ここで，

$$u_{ii} < u_{ij} < 0 \qquad (\partial^2 u(q)/\partial q_i \partial p_i \equiv u_{ii}, \ \partial^2 u(q)/\partial p_i \partial q_j \equiv u_{ij}) \tag{3-3}$$

を仮定しよう。この仮定の下で，

$$V_{ii}+(n-1)V_{ij}>0$$
$$(\partial^2 V(p)/\partial p_i \partial p_i \equiv V_{ii}, \ \partial^2 V(p)/\partial p_i \partial p_j \equiv V_{ij}) \tag{3-4}$$

となることに注意しよう。(3-2) より，企業 i の利潤関数 $\pi^i(s, x_i)$ は，

$$\pi^i(s, x_i)=\begin{cases} s_i \dfrac{\partial w(s)}{\partial s_i} - C(s_i; x_i) & (s_i=q, \ w(s)=u(q)) \\ -s_i \dfrac{\partial w(s)}{\partial s_i} - C\left(-\dfrac{\partial w(s)}{\partial s_i}; x_i\right) & (s_i=p, \ w(s)=V(q)) \end{cases}$$

$$(s=(s_1, \ldots, s_n); \ \mathrm{i}=1, \ldots, n) \tag{3-5}$$

となる。最後に，以上の設定の下で企業は完全に対称であることを確認しよう(対称性の仮定)。

部分ゲーム完全均衡を求める通常の方法に従って，まず第1段階の選択変数の組 $x=(x_1, \ldots, x_n)$ を所与として，第2段階のみからなる部分ゲームの均衡 $s(x)=(s_1(x), \ldots, s_n(x))$ を求めよう。均衡 $s(x)$ は利潤最大化の1階条件から得られる連立方程式 $\partial\pi^i(s(x), x_i)/\partial s_i=0$ $(i=1, \ldots, n)$ を満たさなければならないが，逆にこのとき明らかにすべての企業は第2段階の選択を変更する誘因を持たない。よって第2段階の部分ゲームの均衡 $s(x)=(s_1(x), \ldots, s_n(x))$ は上式で与えられる。

次に第1段階の企業の選択を考えてみよう。費用削減投資の選択に先立って，企業はまず第2段階におけるすべての企業の選択を予測するだろう。そして各企業の費用削減投資はその企業自身の費用を削減するだけでなく，(3-6) が示すように第2段階のすべての企業の選択に影響を及ぼすことに気づくだろう。その結果，第1段階における企業 i の利潤関数は $\pi^i(s(x), x_i)$ で表わされる。まず第1段階の均衡 $x^*=(x_i^*, \ldots, x_n^*)$ はすべての企業の利潤最大化の1階条件 $\partial\pi^i(s(x^*), x_i^*)/\partial x_i=0 (i=1, \ldots, n)$ を満たさなければならないが，逆にこのとき明らかに各企業は選択を変更する誘因を持たない。したがって第1段階の均衡 $x^*=(x_i^*, \ldots, x_n^*)$ は上式で与えられる。以上で求めた均衡 $(x^*, s(x^*))$ は，企業に関する対称性の仮定より，$x_i^*=x_j^*$ かつ $s_i(x)=s_j(x)$ $(i, j=1, \ldots, n; i\neq j)$ を満たすという意味で「対称均衡」であることに注意しよう。

次に，この均衡のもつ社会的厚生上の性質を調べてみよう。そのために，今，第2段階で Cournot 競争が行なわれる場合と Bertrand 競争が行なわれる場合のそれぞれの社会的余剰 W^C, W^B を次のように定義しよう：

$$W^C(x)=u(q(x))-\sum_{j=1}^{n}\{C(q_j(x); x_j)+x_j\},$$

$$W^B(x)=V(p(x))+\sum_{j=1}^{n}\pi^j(x) \tag{3-6}$$

社会的厚生上最も望ましい投資水準は社会的余剰最大化の1階条件 $\partial W(x)/\partial x_i=0$ を満たすことから，均衡投資量 x^* は，もしも $\partial W(x^*)/\partial x_i>0$ ならば社会的厚生上最も望ましい投資水準との比較において過小投資であり，もしも $\partial W(x^*)/\partial x_i<0$ ならば過剰投資であると結論できる。

しかし，$\partial W(x^*)/\partial x_i$ の符号を調べるためにはまだいくつかの準備をする必要がある。まず(3-6)を x_i, $x_h(i, h=1, \ldots, n; i\neq h)$ に関してそれぞれ偏微分し，均衡で評価すると，

$$\sum_{j=1}^{n}\frac{\partial_2\pi^i(s(x^*),\ x_i^*)}{\partial s_i\partial s_j}\ \frac{\partial s_j(x^*)}{\partial x_i}+\frac{\partial^2\pi(s(x^*),\ x_i^*)}{\partial s_i\partial x_i} \tag{3-7}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\frac{\partial^2\pi^i(s(x^*),\ x_i^*)}{\partial s_i\partial s_j}\ \frac{\partial s_j(x^*)}{\partial x_h}=0 \tag{3-8}$$

$$(i,\ h=1,\ \ldots,\ n;\ i\quad h)$$

均衡の対称性より，添え字 i, j から独立した次の変数を定義する：

$$\alpha\equiv\frac{\partial^2\pi^i(s(x^*),\ x_i^*)}{\partial s_i^2}\qquad \beta\equiv\frac{\partial^2\pi^i(s(x^*),\ x_i^*)}{\partial s_i\partial s_j}$$

$$\gamma\equiv\frac{\partial^2\pi^i(s(x^*),\ x_i^*)}{\partial s_i\partial x_i} \tag{3-9}$$

まず α の符号は第2段階の利潤最大化の2階条件より正であるが，β の符号はこの節の仮定だけでは確定されない。ここでは Bulow=Geanakoplos=Klemperer〔1985〕に従って，各企業が供給する財は，もしも $\beta>0$ ならば「戦略的補完財」[6]，もしも $\beta<0$ ならば「戦略的代替財」と呼ぶことにしよう。最後に，この節の仮定の下で γ の符号は Cournot 競争ならば常に正，Bertrand 競争ならば常に負である。さらに，

$$\theta\equiv\frac{\partial s_j(x^*)}{\partial x_i}\qquad \omega\equiv\frac{\partial s_i(x^*)}{\partial x_i} \tag{3-10}$$

を定義して，(3-7)(3-8)に(3-9)(3-10)を代入して θ と ω について解くと，

6) ライバルの積極的な行動に対して，戦略的代替財の場合，企業の最適反応は消極的行動を選択することであり，戦略的補完財の場合，企業の最適反応は積極的行動を選択することである。Bulow=Geanakoplos=Klemperer〔1985〕参照。

$$\theta=\frac{\beta\gamma}{(\alpha-\beta)\{\alpha+(n-1)\beta\}}$$

$$\omega=\frac{\alpha\{+(n-2)\beta\}\gamma}{(\alpha-\beta)\{\alpha+(n-1)\beta\}} \tag{3-11}$$

を得る。第2段階における部分ゲームの安定性を仮定すると，

$$\alpha-\beta<0 \qquad \alpha+(n-1)\beta<0 \tag{3-12}$$

が得られるので，(3-11)の分母の符号は正となる。

ここまでの議論を整理すると次のようになる：1)費用削減競争の第2段階で Cournot 生産量競争が行なわれるとしよう。このとき常に $\alpha<0$, $\gamma>0$, $\omega>0$ である。またもしも財が戦略的補完財ならば $\beta>0$, $\theta>0$, もしも戦略的代替財ならば $\beta(x)<0$, $\theta(x)<0$ である；2)費用削減競争の第2段階で Bertrand 価格競争が行なわれるとしよう。このとき常に $\alpha<0$, $\gamma<0$, $\omega<0$ である。またもしも財が戦略的補完財ならば $\beta>0$, $\theta<0$, もしも戦略的代替財ならば $\beta<0$, $\theta>0$ である。

以上で，均衡 $(x^*, s(x^*))$ の社会的厚生上の性質を調べるための準備はすべて完了したので，実際に $\partial W(x^*)/\partial x_i$ を求めてみよう：

$$\frac{\partial W^C(x^*)}{\partial x_i}=-u_{ii}q_i(x^*)\theta\left[1+(n-1)\frac{u_{ij}}{u_{ii}}-\frac{\alpha}{\beta}\right] \tag{3-13}$$

$$\frac{\partial W^B(x^*)}{\partial x_i}=\{p_i(x^*)-C_q(q_i(x^*);\ x_i^*)\}\frac{\theta}{\beta}$$
$$\times[\alpha\{V_{ii}+(n-1)V_{ij}\}-V_{ii}] \tag{3-14}$$

α, β, γ, θ, ω の符号および(3-3)(3-4)を用いて，(3-13)(3-14)の符号を調べると次の結論を得る：1)第2段階で Cournot 競争が行なわれるとしよう。もしも戦略的補完財ならば，均衡費用削減投資は常に過小投資である。またもしも戦略的代替財ならば，不等式

$$1+(n-1)\frac{u_{ij}(q(x^*))}{u_{ii}(q(x^*))}\gtreqless\frac{\alpha}{\beta} \tag{3-15}$$

の成立に応じて，均衡投資量はそれぞれ過小，最適，過剰投資である；2)第2段階で Bertrand 競争が行なわれるとしよう。もしも戦略的補完財ならば，均

衡費用削減投資は常に過小投資である。またもしも戦略的代替財ならば，不等式

$$V_{ii}(p(x^*)) \gtreqless \frac{\alpha}{\beta}\{V_{ii}(p(x^*))+(n-1)V_{ij}(p(x^*)\} \tag{3-16}$$

に応じて，均衡投資量はそれぞれ過小，最適，過剰投資である。

一般に，Cournot 競争においては戦略的代替財である場合が，また Bertrand 競争においては戦略的補完財である場合が典型的であると思われる。したがって以上の分析から，Bertrand 競争が生産物市場で起こるとき一般的に費用削減投資は過小であるといえる一方で，Cournot 競争が起こる場合には一般的に確定的な結論を導出できないことがわかる。すなわち，需要関数と企業数に依存して均衡投資量は過小になったり過剰になったりするわけである。例えば，次の結論はこの性質をよく表わしている：3)複占企業が収穫一定の生産技術をもつとしよう。もしも逆需要関数が凹，線形，凸ならば，均衡投資量はそれぞれ過剰，最適，過小投資である。

IV 学習効果

生産物市場で起こる生産量あるいは価格に関する競争においてより優位な地位を得るために，企業は直接投資を行なうことによって生産技術を改善しようとする一方で，製品のライフ・サイクルの未成熟段階において積極的に生産の「経験」を積み重ねることで成熟段階の生産費用を削減しようとするかもしれない。このような「経験」によって生産費用が減少する効果は「学習効果」と呼ばれる。厳密には，学習効果とはある財の生産技術がもつ時間に関する「規模の経済性」であると定義できる[7]。それでは，学習効果をもつ財を多期間に渡って生産する寡占企業はどのように財の生産を計画すべきであろうか。またそうした計画はどのような経済的性質をもつのか。以上がこの節のテーマである。

7) 今井・小林〔1983〕参照。

最初に学習効果をもつ財の2期間モデルを分析したのは，Spence〔1981〕である。彼は弾力性一定の需要関数と指数関数の生産関数を仮定し，主に数値例によって precommitment 均衡と部分ゲーム完全均衡を比較した。より一般的な定式化によるモデル分析は Fudenberg=Tirole〔1983〕によってなされた。それでは彼らのモデルに従っていくつかの結論を紹介しよう。

今，生産量競争に関する次のような2期間モデルを考えてみよう。まず第1期に企業 $i(i=1, \dots, n)$ は限界費用 c_1 一定の生産技術の下で第1期の生産量 q_1 を他の企業と同時に選択し，お互いにその結果を知った後で第2期に限界費用 c_2 一定の生産技術の下で再び生産量 q_2 を同時に選択する。企業が今期までに積み重ねた生産の「経験」は，前期までにその企業によって生産された財の累積生産量で表わされるとすると，このモデルにおける学習効果は $c_2=c_2(q_1)$ で表わされる。ここでは単純化のために $c_2(q_1)=c_1-aq_1$ としよう[8]。第 j 期 $(j=1, 2)$ における産業の総生産量を $Q_j=\sum_{i=1}^{n} q_j$，逆需要関数 $p(Q_j)$ を時間に関わらず一定であるとし，単純化のために $p(Q_j)=1-Q_j$ と仮定しよう。このとき，時間選好率を r とすると企業 i の2期間を通した利潤の現在割引価値は，

$$\pi(q_1^i, q_2^i)=q_1^i\{p(Q_1)-c_1\}+q_2^i\{p(Q_2)-c_2(q_1^i)\}/(1+r) \quad (4\text{-}1)$$

で示される。

部分ゲーム完全均衡を求める通常の手法に習い，第1段階の変数の組 $q_1=(q_1^1, \dots q_1^n)$ を所与として，第2段階のみからなる部分ゲームの均衡 $q_2(q_1)=(q_2^1(q_1), \dots q_2^n(q_1))$ を求めよう。まず $q_2(q_1)$ はすべての企業の利潤最大化の1階条件 $\partial\pi(q_1, q_2(q_1))/\partial q_2=0(i=1, \dots, n)$ を満たさなければならないが，逆にこのとき各企業は明らかに選択を変更する誘因を持たないので，$q_2(q_1)$ は上式で与えられる。同様の議論から，第1期の均衡生産量 $q_1^*=(q_1^{1*},$

8) Spence〔1981〕は弾力性一定の逆需要関数と学習効果を仮定した上で，学習効果に関する2段階ゲームのプリコミットメント均衡と部分ゲーム完全均衡は同じ性質をもつと主張した。しかしこれは彼が時間選好率を考慮しなかったことに起因すると考えられる。

$\ldots q_1^{n*})$ は $\partial\pi(q_1^{i*}, q_2^{i}(q_1^*))/\partial q_1^{i}=0(i=1, \ldots, n)$ を満たす q_1^* で与えられ，実際に解いてみると，

$$q_1^{i*}(n)=\frac{(1-c_1)[(1+r)(n+1)^2+2an]}{(1+r)(n+1)^3-2a^2n}q_2^{i*}(n)$$

$$=\frac{(1-c_1)(1+r)[(n+1)^2+a(n+1)]}{(1+r)(n+1)^3-2na^2} \qquad (i=1, \ldots, n)$$

となる。まずもしも $r<(n-1)/(n+1)$ ならば $q_1^{i*}>q_2^{i*}$ となることがわかる。すなわち，もしも時間選好率が小さいかまたは企業数が多いときはこの結論が成立しやすいといえる。他方 $r=1$ または $n=1$ の場合には $q_1^{i*}<q_2^{i*}$ となることに注意しよう。

部分ゲーム完全均衡 $(q_1{}^*, q_2{}^*)$ の性質を調べるために，比較の基準として，社会的厚生上最も望ましい生産計画 (q_1^{**}, q_2^{**}) を求めてみよう。まず社会的余剰を

$$W(q_1, q_2; n)=\frac{Q_1^2}{2}+\frac{Q_2^2}{2(1+r)}+n\pi(q_1, q_2) \qquad (4\text{-}2)$$

定義ですると，短期的に n を所与とした場合の (q_1^{**}, q_2^{**}) は，$\partial W(q_1, q_2; n)/\partial q_1=0$ かつ $\partial W(q_1, q_2; n)/\partial q_2=0$ の解であたえられる。実際に計算すると，

$$q_1^{**}=\frac{(1-c_1)[(1+r)n+a]}{(1+r)n^2-a^2}$$

$$q_2^{**}=\frac{(1-c_1)(1+r)(n+a)}{(1+r)n^2-a^2} \qquad (4\text{-}3)$$

となり，明らかに $q_1^{**}<q_2^{**}$ である。

a, n, r と $q_1^{i*}, q_2^{i*}, q_1^{**}, q_2^{**}, W(q_1^{i*}, q_2^{i*}; n)(=W^*(n)), W(q_1^{**}, q_2^{**}; n)(=W^{**}(n))$ の関係に関するシュミレーションの結果は表1に示される。a の増加または r の減少に対してすべての変数は増加し，n の増加に対して均衡における社会的余剰 W^* 以外のすべての変数は減少する。W^* は n が中程度の値のときに[9]最大となることに注意しよう。

9) $(r, a)=(0.2, 0.3), (0.2, 0.5), (0.5, 0.3)$ のとき，均衡における社会的余剰はそれぞれ $n=4$, $n=2$, $n=5$ で最大となる。

表1 $c=0.5$

	n	q_1^{i*}	q_2^{i*}	q_1^{**}	q_2^{**}	W^*	W^{**}
$r=0.2$ $a=0.3$	1	0.4586	0.4688	1.0811	1.1243	0.5364	0.8072
	2	0.2996	0.2966	0.4586	0.4688	0.5931	0.6794
	3	0.2203	0.2165	0.2913	0.2958	0.6033	0.6454
	4	0.1736	0.1704	0.2135	0.2160	0.6049	0.6296
	5	0.1439	0.1405	0.1685	0.1701	0.6043	0.6205
	6	0.1216	0.1195	0.1392	0.1403	0.6031	0.6146
$r=0.2$ $a=0.5$	1	0.5099	0.5275	1.4316	1.5158	0.6257	1.0780
	2	0.3261	0.5210	0.5100	0.5275	0.6530	0.7596
	3	0.2359	0.2295	0.3110	0.3185	0.6449	0.6916
	4	0.1838	0.1784	0.2240	0.2280	0.6361	0.6620
	5	0.1502	0.1459	0.1748	0.1775	0.6290	0.6454
	6	0.1269	0.1233	0.1434	0.1453	0.6235	0.6348
$r=0.5$ $a=0.3$	1	0.4467	0.4670	1.0213	1.1064	0.4757	0.7035
	2	0.2930	0.2960	0.4467	0.4670	0.5307	0.6064
	3	0.2162	0.2162	0.2864	0.2953	0.5423	0.5799
	4	0.1790	0.1703	0.2108	0.2158	0.5451	0.5675
	5	0.1411	0.1404	0.1668	0.1700	0.5455	0.5603
	6	0.1201	0.1194	0.1380	0.1402	0.5451	0.5556

次にnを内生化して参入障壁が存在しない場合の長期均衡を考えてみよう。2段階ゲームにおいて正の利潤が得られる限り参入は続くと考えられるので，ゲームの均衡企業数 n^* は，

$$\pi^i(q_1^*(n^*),\ q_2^*(n^*))=0 \tag{4-4}$$

で与えられる。このときの社会的余剰 $W^*(n^*)$ を計算すると，

$$W^*(n^*)=\frac{Q_1^*(n^*)^2}{2}+\frac{Q_2^*(n^*)^2}{2(1+r)} \tag{4-5}$$

となる。他方，

$$\frac{\partial W^{**}(n)}{\partial n}=-\frac{a(1-c)^2(n+a)[(1+r)n+a]}{[(1+r)n^2-a^2]^2}<0 \tag{4-6}$$

より，社会的厚生上最も望ましい企業数は $n^{**}=1$ である。

以上の議論は次のように要約される：1)第1期，第2期ともに均衡生産量は

社会的厚生上最も望ましい生産計画よりも過小である；2)時間選好率が大きくなるにつれて，均衡生産量は第1期，第2期ともに減少し，均衡における社会的余剰も減少する；3)学習効果が大きくなるにつれて，均衡生産量は第1期，第2期ともに増加し，均衡における社会的余剰も増加する；4)時間選好率が十分小さいかあるいは企業数が十分大きいとき，均衡生産計画では第2期より第1期に多く生産する。他方，社会的厚生上最も望ましい生産計画では常に第1期よりも第2期に多く生産する；5)企業数が増加するにつれて，均衡生産量は第1期，第2期ともに減少し，均衡における社会的余剰は増加から減少に転じる。他方，社会的厚生上最も望ましい産業構造は独占であるので，一般的に過当競争が生じると考えられる。

V まとめ

この小論では，対称モデルにおける研究開発競争の均衡戦略と社会的厚生の関係を展望した。その結果，一般に研究開発競争とは言っても新製品開発競争であるのか，費用削減競争であるのか，また学習効果に関する競争であるのかによって結論は大きく変わり得ることが示された。さらには，開発後に生産物市場で起こる競争の形態，例えば生産量競争が行なわれるのかあるいは価格競争が行なわれるのかによっても違い得ることがわかった。したがって過剰投資がなされるかどうか，あるいは過当競争が生じるかどうかの判定，更には政府による政策的介入は，具体的に一つ一つの競争の形態を把握した上で個々別々になされなければならないと言える。

参考文献

Brander, J. S. and J. Spencer〔1983〕, "Strategic Commitment with R & D: the Symmetric Case," Bell Journal of Economics, vol. 14, pp. 225–35.

Bulow, J., J. Geanakoplos and P. Klemperer〔1985〕, "Multimarket Oligopoly: Strategic Substitutes and Complements," Journal of Political Economy, vol. 93, pp. 488–511.

Dasgupta, P. and J. Stiglitz [1980], "Industrial Structure and the Nature of Innovative Activity," Economic Journal, vol. 90, pp. 266–93.

Fudenberg, D. and J. Tirole [1983], "Learning by Doing and Market Performance," Bell Journal of Economics, vol. 14, pp. 522–30.

Gilbert, R. and D. Newberry [1982], "Preemptive Patenting and the Persistence of Monopoly," American Economic Review, vol. 72, pp. 514–26.

Lee, T. and L. L. Wilde [1980], "Market Structure and Innovation: Reformulation," Quarterly Journal of Economics, vol. 94, pp. 429–36.

Loury, G. [1979], "Market Structure and Innovation," Quarterly Journal of Economics, vol. 93, pp. 395–410.

Okuno-Fujiwara, M. and K. Suzumura [1987], "Strategic Cost-Reduction Investment and Economic Welfare," woking paper.

Spence, M. [1981], "The Learning Curve and Competition," Bell Journal of Economics, vol. 12, pp. 49–70.

伊藤元重・奥野正寛・清野一治・鈴村興太郎〔1985〕「産業政策の経済分析(4)：研究開発と産業政策」『季刊現代経済』第61巻，pp. 65–90.

今井晴雄・小林孝雄〔1983〕「連載／ゲームの理論と経済学(16)：競争と経済厚生」『経済セミナー』